

#### Список литературы

1. Ryzhkov A.F., Bogatova T.F., Val'tsev N.V., Gordeev S.I., Khudyakova G.I., Osipov P.V., Abaimov N.A., Chernyavskii N.V., Shul'man V.L. Development of Low Temperature Thermochemical Conversion Reactors for Coal Power Engineering // Thermal Engineering. December 2013. Vol. 60. Issue 12. P. 895–903.

УДК 621.316.9

Кримготовов А. Э.<sup>1</sup>, Ключев Р. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Астраханский государственный технический университет (АГТУ)

<sup>2</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)  
kluev-roman@rambler.ru

### РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОГО УГЛА ОТКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАЛЫХ ГЭС

В условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию в РСО-Алания особую актуальность приобретают вопросы обеспечения республики дешевой и качественной энергией. Наибольший энергетический потенциал РСО-Алания заключается в использовании энергии высокогорных рек. В настоящее время Северо-Осетинский филиал ОАО «РусГидро» включает 6 гидроэлектростанций (ГЭС), заканчивается строительство каскада Зарамагских ГЭС на р. Ардон и ряда малых ГЭС на р. Урух. На кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» СКГМИ (ГТУ) большое внимание уделяется вопросам исследования водно-энергетических режимов, а также статической и динамической устойчивости ГЭС. В статье приведены результаты расчета предельного угла отключения трехфазного короткого замыкания (КЗ) при исследовании динамической устойчивости для генератора с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) пропорционального действия малой ГЭС (МГЭС) «Фаснальская».

На МГЭС установлены 4 генератора по 1,6 МВт каждый. Общая мощность – 6,4 МВт, напряжение – 6,3 кВ. Точка присоединения – п/ст 35/6 кВ «Фаснал», РУ 6 кВ – 2 фидера на одной секции. Передача мощности идет по двухцепным воздушным ЛЭП, выполненным проводом марки АС-120/19, протяженностью 360 м.

Расчет динамической устойчивости:

1. Составление схемы замещения для нормального (I), аварийного (II) и послеаварийного (III) режимов работы синхронного генератора (СГ).

2. Построение угловых характеристик мощности СГ при трехфазном коротком замыкании на одной из ЛЭП 6 кВ.

3. Построение площадей ускорения  $A_{\text{уск}}$  и торможения  $A_{\text{торм}}$  и определение предельного угла отключения КЗ.

Целью расчета является определение предельного угла отключения короткого замыкания (КЗ) ( $\delta'_{\text{пр}}$ ), при котором еще сохраняется возможность

обеспечения динамической устойчивости работы генератора. При КЗ возникает избыточный момент, под действием которого ротор генератора ускоряется, и начальный угол начинает возрастать. Если отключение релейной защиты поврежденного участка сети, на котором произошло КЗ, и переход с аварийного режима КЗ (II) на послеаварийный (III) происходит в пределах изменения угла от  $\delta'_0$  до  $\delta'_{\text{пр}}$ , то динамическая устойчивость работы генератора обеспечивается. Необходимым условием сохранения динамической устойчивости является соблюдение соотношения:  $A_{\text{уск}} \leq A_{\text{торм}}$ , где  $A_{\text{уск}}$ ,  $A_{\text{торм}}$  — соответственно площади ускорения и торможения.

Определим предельные углы и площади ускорения и торможения с учетом АРВ пропорционального действия.

Начальный угол  $\delta'_0 = 8,123^\circ$ .

Критический угол в нормальном режиме при эквивалентной мощности генератора:  $P_{\text{Г.ЭКВ}} = 6,4$  МВт [1]:

$$\delta'_{\text{кр}} = 180^\circ - \arcsin \left( \frac{P_0}{P_{\text{прI}}} \right); \delta'_{\text{кр}} = 171,877^\circ.$$

Из равенства площадей ускорения и торможения ( $A_{\text{уск}} = A_{\text{торм}}$ ) определяется предельный угол отключения для трехфазного КЗ. Если при расчетах полученное значение  $\cos \delta_{\text{пр}}^{(i)} > |1|$ , то угол не существует, т. е. система устойчива в аварийном режиме. Площади ускорения и торможения при трехфазном КЗ:

$$A_{\text{уск}} = \int_{\delta'_0}^{\delta'_{\text{пр}}(3)} (P_0 - P_{\text{прII}}^{(3)} \sin(\delta')) d\delta'; A_{\text{торм}} = \int_{\delta'_{\text{пр}}(3)}^{\delta'_{\text{кр}}} (P'_{\text{прIII}} \sin(\delta') - P_0) d\delta'.$$

Из равенства площадей ускорения и торможения:  $\delta'_{\text{пр}}(3) = 125,776^\circ$ . Расчетные значения площадей:  $A_{\text{уск}} 17,65$ ;  $A_{\text{торм}} 8,26$ .

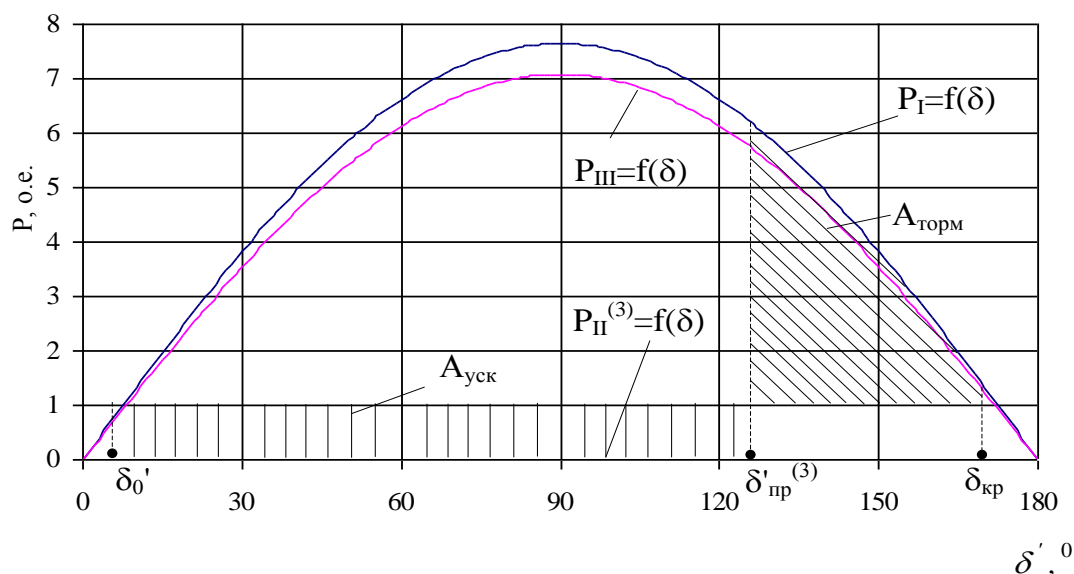
Угловая характеристика мощности генератора для режимов I, II, III при трехфазном КЗ приведена на рисунке.

При изменении  $P_{\text{Г.ЭКВ}} = 1,6 - 6,4$  МВт расчетные значения начального, предельного, критического углов отключения КЗ, а также площадей ускорения и торможения для наиболее тяжелого вида КЗ (трехфазного) приведены в таблице.

Характеристики СГ при трехфазном КЗ

$P_{\text{Г.ЭКВ}},$ МВт	$\delta'_0, ^\circ$	$\delta'_{\text{кр}}, ^\circ$	$\delta'_{\text{пр}}(3), ^\circ$	$A_{\text{уск}}$	$A_{\text{торм}}$
1,6	3,489	176,47	144,315	35,196	35,206
3,2	4,336	175,505	139,709	67,606	67,686
4,8	5,7	173,948	133,224	95,379	95,643
6,4	8,123	171,877	125,776	117,653	118,262

Из таблицы видно, что расчетные значения предельного угла отключения трехфазного КЗ увеличиваются от  $125,776^\circ$  до  $144,315^\circ$  при снижении эквивалентной мощности СГ со значения 6,4 МВт до 1,6 МВт.



Угловые характеристики мощности генератора с АРВ пропорционального действия для режимов I, II, III при трехфазном КЗ

Полученные значения  $\delta'_{пр}^{(3)}$  используются при разработке комплексной программы автоматического управления режимами эксплуатации МГЭС «Фаснальская» [2–6].

#### Список литературы

1. Веников В. А. Переходные электрохимические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Ключев Р. В. Оценка влияния быстродействующего автоматического повторного включения на динамическую устойчивость электроэнергетической системы // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 2. С. 67–69.
3. Исследование и расчет устойчивости работы высокогорных Малых гидроэлектростанций (МГЭС) / И. Е. Васильев, Р. В. Ключев А. А. Долганов / Устойчивое развитие горных территорий. 2011. № 3. С. 50–58.
4. Разработка научно-технических основ расчета, функционирования и управления малыми гидроэлектростанциями (МГЭС) / Васильев И. Е., Долганов А. А., Ключев Р. В. // Устойчивое развитие горных территорий. 2013. № 3. С. 5–9.
5. Методика и расчет установившегося режима работы МГЭС без промежуточного отбора мощности в электрической сети / Васильев И. Е., Долганов А. А., Ключев Р. В., Галкина О. Ю. // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. № 1. С. 30–36.
6. Методика расчета напряжений в узлах нагрузки электрической сети МГЭС-МРСК с промежуточным отбором мощности в электрической сети // И. Е. Васильев, Р. В. Ключев, Е. И. Васильев, А. А. Долганов. Устойчивое развитие горных территорий. 2014. № 2. С. 37–44.